



MINISTERIO DEL AIRE
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION DE VUELO

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

Publicaciones
Serie A (Memorias) n.º 13

EL MAR DE NUBES EN TENERIFE

M E M O R I A

presentada para el ascenso a Meteorólogo

por

JOSE ANTONIO BARASOAIN,
Doctor en Ciencias Físicas.

SECCION DE AEROLOGIA
Apartado 285, - MADRID
1 9 4 3

6.1
411)
R
3

AEMET-BIBLIOTECA



1009683
© Agència Estatal de Meteorologia. 2018

R. 13.888

Sig M76.1(460.411)



MINISTERIO DEL AIRE
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION DE VUELO

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

Publicaciones

Serie A (Memorias) n.º 13

EL MAR DE NUBES EN TENERIFE

M E M O R I A

presentada para el ascenso a Meteorólogo

por

JOSE ANTONIO BARASOAIN ODERIZ

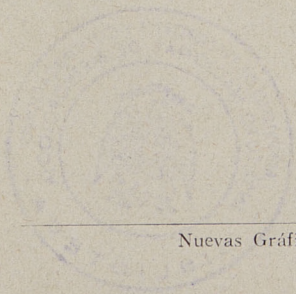
Doctor en Ciencias Físicas.

SECCION DE AEROLOGIA

Apartado 285. - MADRID

1 9 4 3





Nuevas Gráficas, S. A.—Rodríguez San Pedro, 51.—Tel. 33029

EL MAR DE NUBES EN TENERIFE

M E M O R I A

presentada para el ascenso a Meteorólogo

por

JOSE ANTONIO DE BARASOAIN

Doctor en Ciencias Físicas

EL MAR DE NUROS EN TENERIFE

A. J. O. M. H. M.

CONSEJO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CONSEJO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Descripción del mar de nubes

En la parte Norte de la isla de Tenerife se forma un extenso mar de nubes. Es plano sin apenas irregularidades, produciéndose, aunque aisladamente, en su superficie la aparición de cogollos de cúmulos aislados. El punto de observación que gozábamos era el del Observatorio de Izaña, situado a 2.367 m. de altitud y enclavado en la misma línea divisoria de la cordillera que, partiendo del Pico Teide, cruza toda la isla. Está formada esta capa nubosa de estrato-cúmulos que cubren normalmente todo el valle de La Orotava, situado justamente debajo de nuestro punto de observación, prolongándose hacia el mar.

Se observa a simple vista una variación diurna de la altura de este mar de nubes, cosa fácil de apreciar ya que casi siempre comienza esta superficie nubosa en la misma falda de la montaña, extendiéndose hacia el mar.

A mediodía se ve bastante aumentada la altura del mar de nubes en tierra respecto de la altura que tiene sobre el mar, es decir, que dicha superficie está inclinada con pendiente descendente hacia el mar.

Cuando reina en la isla tiempo Sur (calor con vientos de esta región más o menos inclinados al E.) la altura desciende considerablemente.

Frecuentemente, por la noche el mar de nubes desaparece por completo, coincidiendo algunas veces este fenómeno con la aparición de un mar de bruma en la costa.

El poso atmosférico

La transparencia del aire es disminuída por la bruma seca más o menos fina, la cual se comporta dentro del aire como partículas muy pequeñas en suspensión en el agua. Caen lentamente y se acumulan en la parte baja del valle, constituyendo lo que pudiéramos llamar el *poso atmosférico*. Cuando las partículas son muy finas y muy diseminadas, disminuyen poco la transparencia. Para observarlas es neces-

rio situarse en una altura fuera de este *poso atmosférico*. Con lluvias y vientos fuertes se enturbia este *poso* por mezcla de las distintas capas atmosféricas, haciendo imposible la observación.

En la isla de Tenerife hemos observado desde Izaña el situado sobre el valle de La Orotava. También lo hemos observado espléndidamente en repetidas ocasiones desde el monte de las Mercedes, en dirección al Teide, sobre el extenso valle de La Laguna, el de Tacoronte y el de La Orotava.

El aspecto que produce es el de un velo blanquecino, uniforme y que en la base de las montañas toma un tinte azulado grisáceo. Se observa perfectamente un aumento brusco de la transparencia en dirección horizontal cuando se asciende dentro de este *poso*, lo que hace ver que el nivel superior del mismo es una superficie plana y horizontal. Su altura oscila mucho con el movimiento diurno del Sol.

Estas partículas, que son núcleos de condensación para el vapor de agua, tienen naturalmente una íntima relación con el mar de nubes, como nosotros lo hemos observado. Generalmente, cuando el mar de nubes no está completamente formado pero hay algunas porciones de él, se observa que se apoyan sobre la superficie superior del *poso*, semejando que flotan en el mismo. Esto le ocurre también al mar de nubes formado, observación que se aprecia desde las Mercedes. Parece, por lo tanto, que existe una superficie limitante de estos fenómenos y que veremos más adelante no es otra cosa que la capa de inversión.

Medida de la altura del mar de nubes

El Meteorólogo Jefe del Observatorio de Izaña, D. Pío Pita, ideó el siguiente método de medida de la altura del mar de nubes:

En la parte W. del Observatorio descende desde las Cañadas hacia el mar una línea montañosa de perfil neto y continuo. Por el plano de la isla con curvas de nivel se pudo trazar el perfil desde el Pico hasta la costa que está representado en la figura 1. Dirigiendo con un teodolito una visual al Pico y otra al punto donde corta el mar de nubes a esta montaña, tenemos un ángulo cuyo vértice está situado en el Observatorio; este ángulo, transportado sobre el plano, nos da inmediatamente la altitud del límite superior del mar de nubes. En la figura se han colocado en abscisas los ángulos y en ordenadas las altitudes, lo que nos facilita grandemente el cálculo.

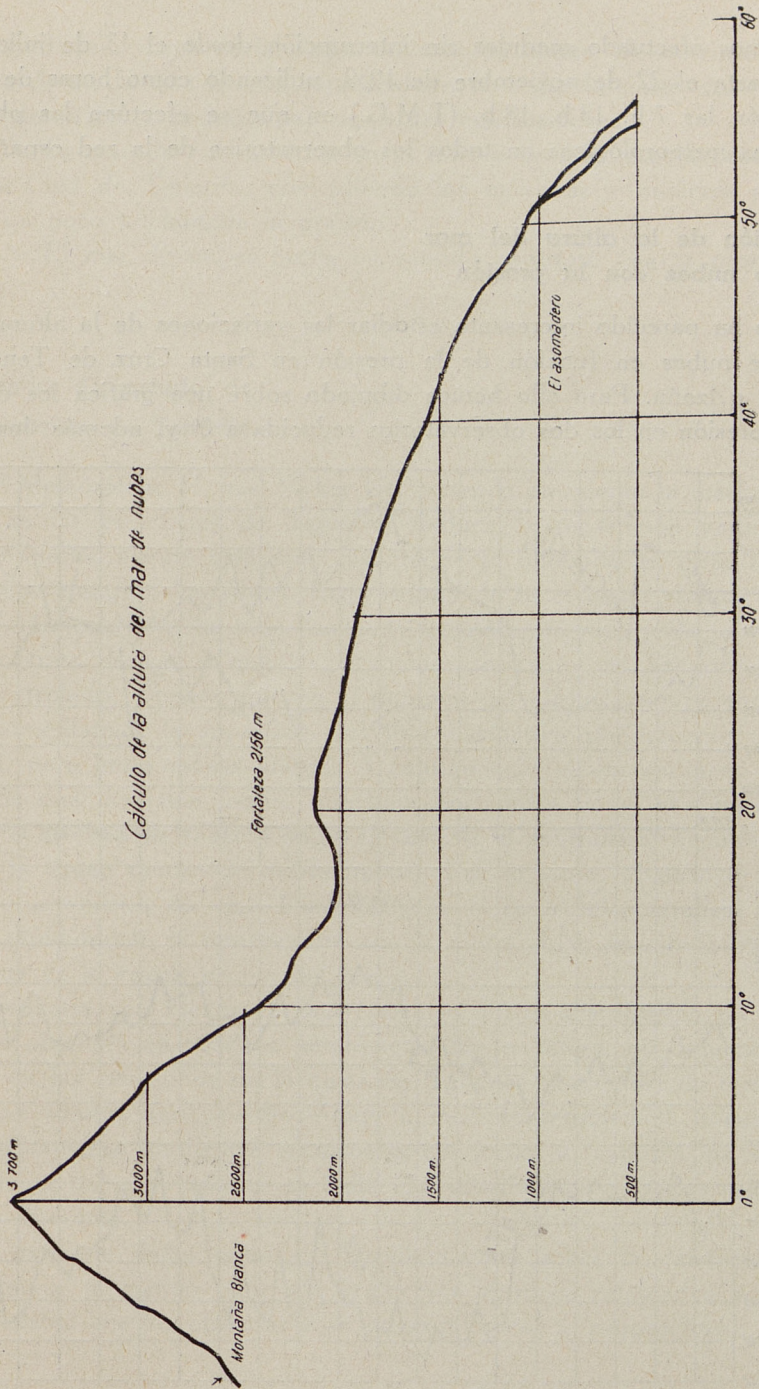


Fig. 1

Hemos efectuado medidas sin interrupción desde el 13 de julio de 1938 hasta el 22 de noviembre de 1939, utilizando como horas de observación las 7 h. 13 h. 18 h. (T.M.G.) en que se efectúan las observaciones meteorológicas en todos los observatorios de la red española.

Variación de la altura del mar de nubes con la presión

Nos ha parecido interesante estudiar las variaciones de la altura del mar de nubes en función de la presión en Santa Cruz de Tenerife (37 m.) e Izaña. Para ello hemos dibujado sobre una gráfica los datos de la presión en los dos observatorios reducida a 0° y, además, los co-

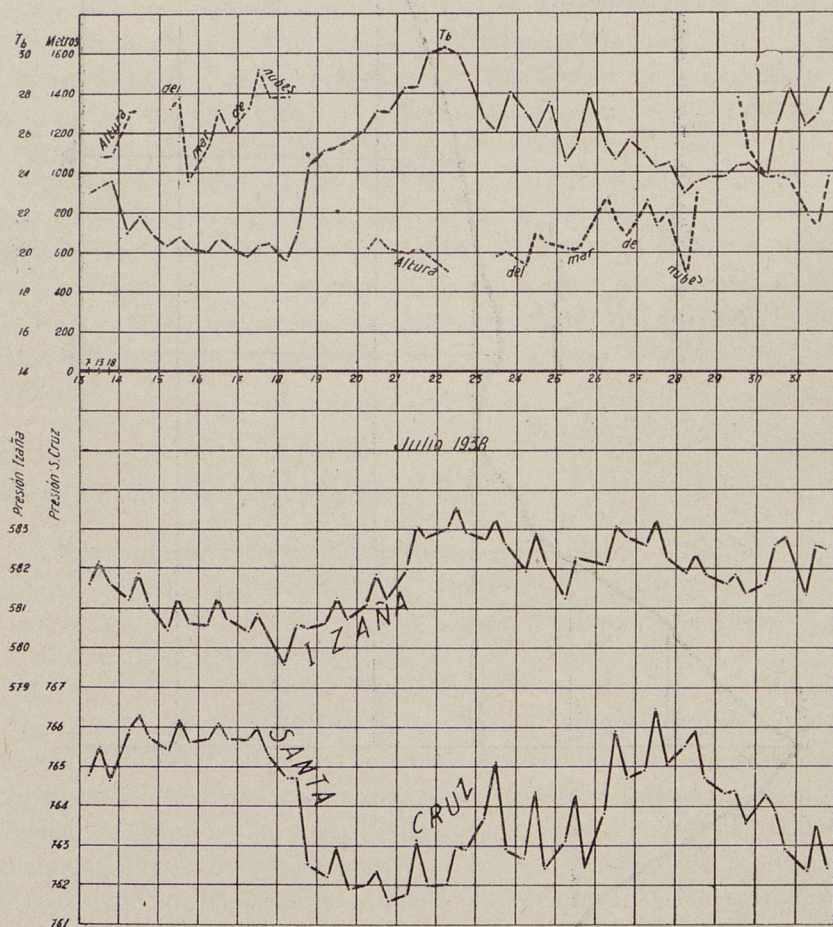


Fig. 2.

respondientes datos de la altura del mar de nubes. De la visión de la figura 2, en la que hemos representado la segunda parte del mes de julio de 1938, se deducen las siguientes conclusiones:

1.^a El mar de nubes oscila en el mismo sentido que la presión en Santa Cruz de Tenerife, coincidiendo los máximos y mínimos aunque está un poco adelantada la presión.

2.^a El mar de nubes oscila en sentido contrario que la presión en Izaña.

La curva de estado de la atmósfera de Tenerife

El Meteorólogo H. von Ficker (*), teniendo en cuenta la media mensual de las estaciones de Tenerife, deduce la repartición vertical de temperaturas, siendo ésta muy distinta de la obtenida en otras montañas, por ejemplo, los Alpes. Este estudio de la zona de vientos alisios del Atlántico Norte ha sido realizado aerológicamente, y dicho Meteorólogo trata de ver si con las estaciones terrestres en Tenerife puede ser controlado. Obtiene que en el dominio del alisio la temperatura del aire inmediato a la superficie del mar disminuye rápidamente con la altura, pero hasta escasa altitud. A continuación se encuentra en la ascensión una inversión fuerte, que unos consideran como el tránsito del alisio a la capa de mezcla entre el alisio y el contralisio, mientras que otros la sitúan dentro del alisio mismo. Por lo tanto, el paso del contralisio se verifica con una inversión y en el seno del contralisio disminuye rápidamente la temperatura con la altura. Esto se refiere al verano, que es la época propia del alisio.

Encuentra von Ficker en esta época la misma distribución en capas que la obtenida en sondeos aerológicos. Sin embargo, no debieran hallarse en las estaciones de la costa de Tenerife gradientes de temperatura tan fuertes aunque—dice—muy a menudo también se encuentran aerológicamente gradientes superdiabáticos junto al mar. En las restantes épocas del año—añade—se halla una distribución en capas esencialmente diferente.

Se extiende dicho autor en consideraciones sobre la existencia de inversiones, utilizando para ello gradientes térmicos calculados a partir de los datos que las observaciones meteorológicas le proporcionan. Dice

(*) H. von Ficker.—«Die Meteorologischen verhältnisse der Insel Teneriffa.»

que para fijar la altura de la inversión existente entre La Laguna e Izaña es imprescindible la creación de una estación meteorológica de altura intermedia entre ambas. Nosotros opinamos que sería de gran utilidad dicha creación, y, como veremos más adelante, dicha altura queda fijada conociendo la del mar de nubes.

A continuación estudia la posibilidad de fijar las inversiones utilizando el concepto de *temperatura media barométrica* (T_b), que se calcula como se ve en el párrafo siguiente. Para ello supone un decrecimiento lineal de temperatura entre La Laguna e Izaña (fig. 3. línea *a*) (*) (cosa

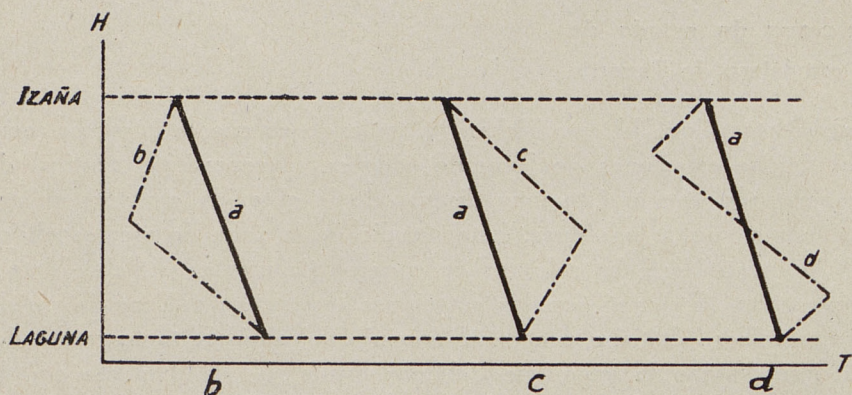


Fig. 3.

que ya se ha visto es falsa) y calcula la temperatura media (T_m), media aritmética de las observaciones en ambos observatorios. La temperatura media barométrica la deduce de las presiones observadas en dichos lugares. Comparando T_b y T_m se tiene: Si $T_b < T_m$ la curva de estado debe tener aproximadamente la forma de la quebrada *b*; si $T_b > T_m$ habría de ser una curva parecida a la quebrada *c*. Por lo tanto, se tendrá una sola inversión en la parte superior para $T_b < T_m$ y una sola inversión en la parte inferior para $T_b > T_m$. Resulta otra tercera posibilidad para $T_b = T_m$. En este caso habría decrecimiento lineal de la temperatura entre La Laguna e Izaña; pero si de las observaciones se dedujera una inversión inferior, necesariamente tendría que haber otra superior y a la inversa (fig. 3 *d*). En este caso, siendo probable que la zona de mezcla esté situada en un término medio entre La Laguna e Izaña, tendríamos que estaría encerrada por dos inversiones.

(*) La recta *a* une los puntos en que *T* y $\log H$ son los correspondientes a Izaña y La Laguna.

Cálculo de la temperatura media barométrica (T_b)

El cálculo de T_b se realiza utilizando la expresión

$$p = p_0 e^{-\frac{h}{R T_b}}$$

en la que p_0 y p son las presiones en los lugares extremos, h la altura en metros geodinámicos, R la constante de los gases y T_b la temperatura media barométrica.

Expresando la altura en metros geométricos z , se tiene

$$p = p_0 e^{-\frac{g z}{R T_b}} \quad (1)$$

en la que g es la gravedad.

Sabiendo que :

$$g = 978,899 \text{ (Izaña)}$$

$$g = 979,411 \text{ (Santa Cruz)}$$

se tomaría para g , en la capa comprendida entre Santa Cruz e Izaña, un valor intermedio :

$$g = 979,15$$

En cuanto R tiene para el aire seco el valor

$$R = 2,8703 \cdot 10^3;$$

para el aire húmedo el valor R' viene dado por

$$R' = \frac{R}{1 - \frac{3}{8} \frac{f}{p}} \simeq R \left(1 + \frac{3}{8} \frac{f}{p} \right)$$

en la que f es la tensión del vapor y p la presión.

Adoptamos para valor fijo un valor intermedio que es :

$$R = 2,8713 \cdot 10^3$$

Con estas constantes se tiene para la expresión (1)

$$p = p_0 e^{-\frac{979,15 z}{2871,3 T_b}}$$

y, operando,

$$\log p_0 - \log p = 0,1481 \frac{z}{T_b} \quad (2)$$

Los valores de las diferencias de altitud z son:

Santa Cruz - Izaña $z = 2330$ m.

Laguna - Izaña $z = 1820$ »

Santa Cruz - Laguna $z = 510$ »

y, por lo tanto, tenemos para la expresión (2)

$$\text{Santa Cruz - Izaña} \dots\dots\dots \log p_0 - \log p = \frac{345,073}{T_b}$$

$$\text{Laguna - Izaña} \dots\dots\dots \log p_0 - \log p = \frac{269,542}{T_b}$$

$$\text{Santa Cruz - Laguna} \dots\dots\dots \log p_0 - \log p = \frac{75,531}{T_b}$$

Para el cálculo rápido de los valores de T_b deducidos de estas fórmulas se han construido las respectivas reglillas de la figura 4. Los valores de los primeros miembros se llevan a la reglilla (fig. a) y los valores de los segundos miembros a las figuras b, c y d, respectivamente.

Con estas reglillas (que hemos construido en madera) calculamos con rapidez y dentro de los errores admisibles en esta clase de estudios los valores de (T_b) .

Cálculo de la presión a la altura del mar de nubes

El cálculo se ha verificado con una escala logarítmica de la presión unida a otra con alturas en metros geométricos calculada en la hipótesis de una temperatura uniforme en el aire de 10° . La corrección para otras temperaturas se hacía mediante un haz de rectas en un espacio coordinado en que las ordenadas son altitudes y las abscisas las correcciones que hay que introducir para temperaturas del aire diferentes de 10° .

Se ha tomado como datos para la reducción los de La Laguna y, para altitudes superiores a 1.950 m., los de Izaña.

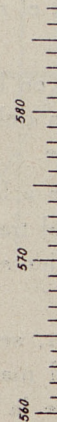
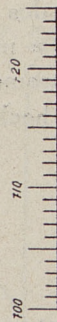
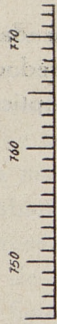


Fig. a

Fig. b

S/C - Izahna

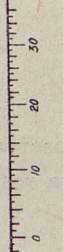


Fig. c

Laguna - Izahna



Fig. d

S/C - Laguna

Fig. 4.

No detallamos más este cálculo por ser las reglas usadas corrientemente en el Servicio Meteorológico Nacional para la reducción de la presión al nivel del mar, o a otros, en las estaciones sinópticas.

Relación entre la temperatura media barométrica y la altura del mar de nubes

La relación puesta de manifiesto en la figura 2 entre las presiones y la altura del mar de nubes quedará perfectamente definida si en vez de comparar ésta con las presiones de Santa Cruz e Izaña lo hacemos con la diferencia entre sus logaritmos, o, dicho de otro modo, con la temperatura media barométrica entre dichas estaciones, ya que al encontrarse la inversión sobre el mar de nubes el aire entre el mar y ésta es frío y denso y hará aumentar la diferencia entre los dos barómetros tanto más cuanto mayor sea su espesor y, por lo tanto, a mayor altura del mar de nubes corresponde más baja temperatura barométrica.

La gráfica de la figura 2 demuestra claramente este hecho.

Curvas de estado medias de la atmósfera de Tenerife

El resultado de un año de observaciones de temperaturas medias y alturas del mar de nubes medio va resumido en el cuadro I; que nos indica claramente lo que sigue:

- 1) A 7 h. solamente en julio es $T_b < T_m$, es decir, en el mes de más calor y mayor duración del día.
- 2) A 18 h. (17 h. locales) esa desigualdad se verifica en la época de abril a agosto, es decir, en los meses de mayor duración del día, cuando el Sol a esa hora está aún muy alto sobre el horizonte.
- 3) Los valores de $T_b - T_m$ a 13 h. y 18 h. indican que a las horas de calor la inversión está alta aun cuando, como veremos, el trazado no es fácil si no se admite por encima de la inversión un gradiente superadiabático.
- 4) Cuando $T_b > T_m$ a 7 h., la inversión, según Ficker, se produciría en las capas inferiores pero la existencia a esa hora del mar de nubes en 195 días con un nivel medio de 1.660 metros excluye la posibilidad

de la inversión como no fuera en las capas más bajas y aun en ellas es incompatible con las temperaturas registradas en La Laguna aun teniendo en cuenta su situación topográfica. De lo que resulta que la temperatura debe subir ya en la misma masa del mar de nubes y, por encima de esa masa, alcanzar una fuerte inversión seguida de un gradiente superadiabático. Hay un caso en que la inversión es muy baja y aun a veces comienza al nivel del mar y es cuando reina tiempo Sur (calor con vientos de esta región más o menos inclinados al Este) como puede verse en la figura 5 que representa la curva de estado los días 20 y 21 de julio. Lo más notable en estos días es la existencia del mar de nubes precisamente en los más bajos niveles. Estas nubes y la inversión junto al mar resultan incompatibles y sólo puede explicarse esta anomalía suponiendo que en la ladera Norte queda una masa de aire fresco proveniente del alisio de días anteriores y que no ha sido removida.

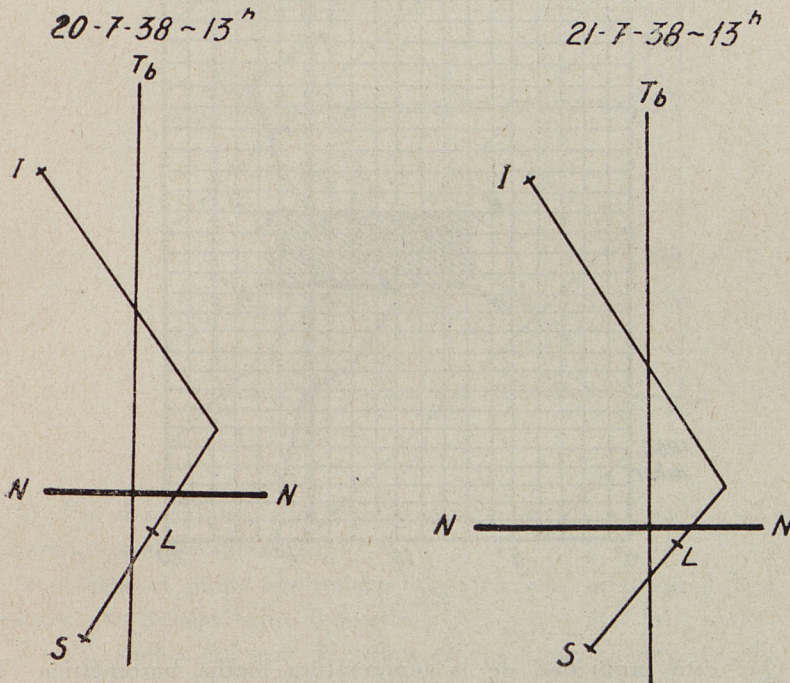


Fig. 5.

Trazado de las curvas de estado reales

Hemos utilizado el diagrama de G. Stüve por ser el único de que disponemos. Aunque la función de la presión no es logarítmica dentro de los límites de presión en que se opera no hay error sensible (como se ha comprobado). Al aplicarle la propiedad de la temperatura media barométrica (T_b) debe formar ésta con la curva de estado áreas iguales a derecha e izquierda.

A base de los datos del 1.º de enero de 1931 (*) hemos construido la curva representada en la figura 6, a la que hacemos las siguientes observaciones:

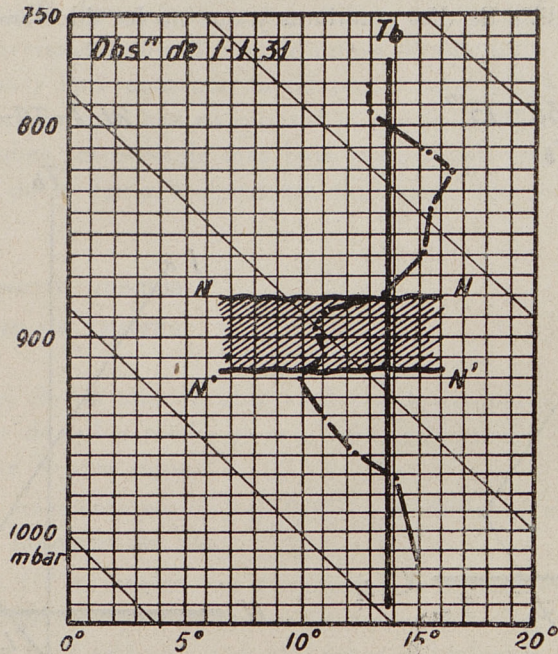


Fig. 6.

1) Que esta propiedad de la temperatura media barométrica (T_b) se verifica sólo aproximadamente (téngase en cuenta que el descenso duró cerca de tres horas).

(*) Datos proporcionados por el Jefe del Observatorio, obtenidos durante un viaje de descenso desde Izaña.

2) Por debajo del mar de nubes N'N' se registra un gradiente superadiabático.

3) La inversión se inicia en el límite del mar de nubes ya que las temperaturas no siguen la adiabática húmeda, presentándose la inversión francamente en el límite superior del mismo tomando como tal el momento en que se distingue el cielo por encima.

4) El valor máximo de la inversión es de $6,5^{\circ}$, alcanzando temperatura superior a Santa Cruz.

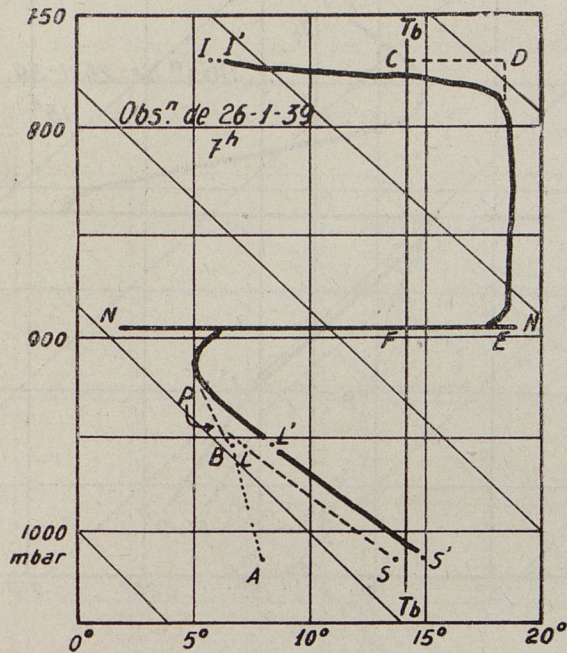


Fig. 7.

5) En el momento que adquiere la temperatura máxima el gradiente cambia a superadiabático.

6) Hasta el punto de temperatura máxima se observó brisa de la cresta y por debajo brisa del valle.

7) El espesor del mar de nubes es aproximadamente de 270 m.

* * *

Con los datos reales de Izaña, La Laguna y Santa Cruz, y valiéndonos de las alturas del mar de nubes, hemos construido numerosas curvas

de estado encontrando en todas la necesidad de admitir gradientes fuertemente superadiabáticos.

Damos como ejemplo las curvas del día 26 de enero de 1939 (figs. 7, 8 y 9), en que los puntos S, L, I, representan los estados del aire, los S', L', I', los mismos empleando temperaturas virtuales y los A y B las humedades específicas, NN representa el límite superior del mar de nubes y el punto P el nivel de condensación.

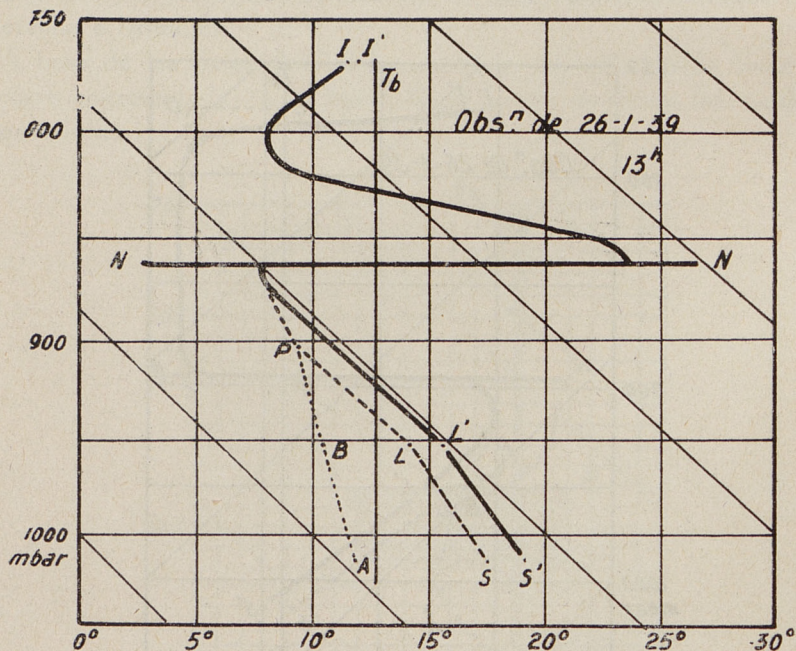


Fig. 8

La de 13 h., por ejemplo (fig. 8), teniendo en cuenta la temperatura media barométrica (T_b) y su propiedad respecto a las áreas, no ofrece la menor dificultad en su trazado, pero el mismo día a 7 h. (fig. 7), para que la citada propiedad se verifique es necesario que la temperatura en la inversión llegue al menos a 19° y esto suponiendo condiciones límites imposibles (en la figura, en la que el rectángulo CDEF que queda por encima del mar de nubes tiene igual área que el polígono situado a la izquierda de la recta que representa la temperatura media barométrica (T_b)). Como forzosamente con cielo sobre la inversión absolutamente despejado la temperatura tiene que ser más elevada a 13 h., hay que admitir por debajo de Izaña una segunda inversión seguida de un gra-

diente fuertemente superadiabático, encima de la inversión inferior. A 18 h. esta segunda inversión desaparece o bien tiene lugar por encima de Izaña.

* * *

Estos gradientes superadiabáticos no pueden admitirse sin suponer la existencia de corrientes verticales que quedarían bien determinadas si se conociera la distribución de temperaturas en la atmósfera lejos de tierra.

Es probable que, salvo las capas inferiores, esta distribución corresponda a la que se obtenga con los valores medios de presión, temperatura y humedad en las tres horas de observación.

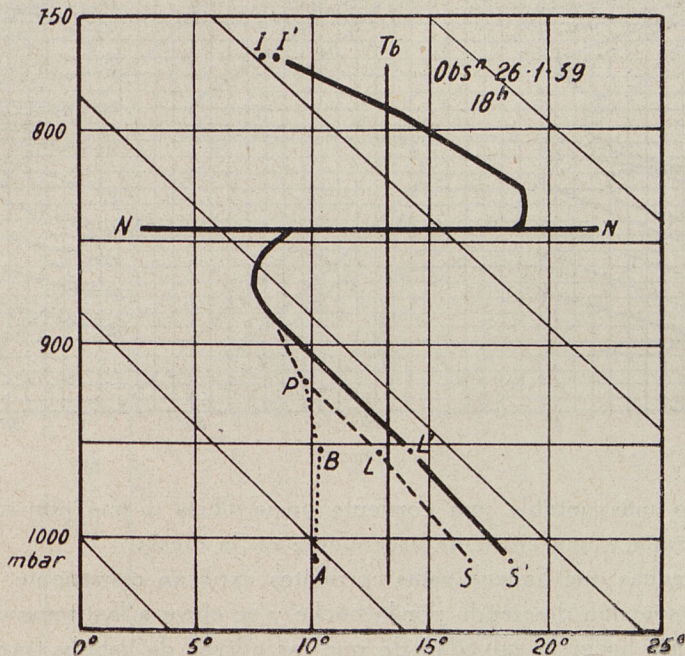


Fig. 9.

Esta distribución media se halla en el centro de la figura 10. A la izquierda y a la derecha de la misma, se ha proyectado esta curva obtenida de estado medio sobre los ejes verticales E y E y se han proyectado sobre verticales del borde izquierdo y derecho, respectivamente, las curvas de estado correspondientes a las 7 y 13 horas. Trazando entre

estas proyecciones las curvas isothermas se pone en evidencia las circulaciones que podán existir entre tierra y atmósfera libre.

A 7 h. se aprecia en primer lugar y en la parte inferior la brisa de tierra (hay que tener en cuenta que las horas son T. M. G.). Encima de la inversión que aparece deprimida en tierra existe una circulación del mismo sentido que la anterior. Encima de ésta una de sentido contrario y, por último, en la cresta una corriente descendente.

A 13 h. se observa en primer lugar la brisa marina y sobre la inver-

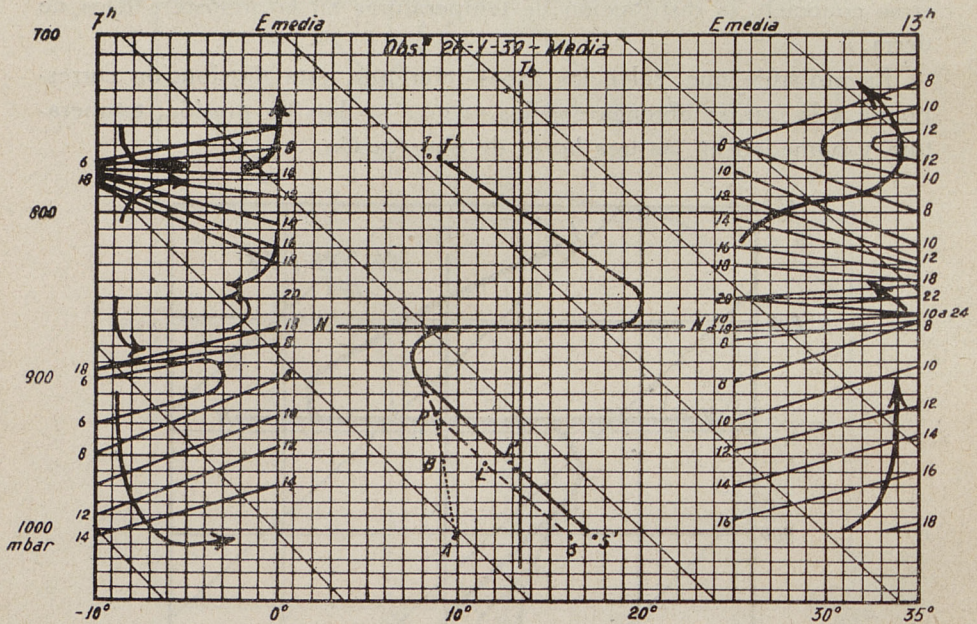


Fig. 10.

sión es lo más notable una corriente hacia tierra a una altura inferior a la de Izaña y una corriente ascendente en la cresta.

Las flechas que indican estas corrientes explican claramente cómo la capa de inversión desciende por la noche y se eleva a las horas de calor.

Hay que hacer la salvedad de que las curvas de estado trazadas no es posible que se den en la realidad. Probablemente existe un ascenso o mantenimiento de la temperatura dentro de la masa de nubes y el salto brusco de la temperatura en la inversión ha de verificarse progresivamente. Tampoco es admisible un ascenso de temperatura como el indicado a 7 h. por debajo de Izaña. La supresión de este rápido descenso puede incluso llegar a anular el remolino de 7 h. por debajo de Izaña.

GRADIENTE Y TEMPERATURA MEDIA ENTRE SANTA CRUZ E IZAÑA (2.330 m.) Y ALTURA MEDIA DEL MAR DE NUBES

MES	$\frac{\Delta t}{\Delta h}$						T_m						T_b						$T_b - T_m$						Altura del mar de nubes y número de medidas											
	7			13			18			Día			7			13			18			Día			7			13			18			Día		
	7			13			18			Día			7			13			18			Día			7			13			18			Día		
	Z			N.º			Z			N.º			Z			N.º			Z			N.º			Z			N.º			Z			N.º		
1939																																				
Enero	0,51	0,54	0,57	0,54			9,0	13,0	11,6	11,2	12,5	12,4	12,5	0,5	0,8	1,3	1832	9	1838	15	1755	21	1800	45												
Febrero	59	60	63	61			8,5	11,9	10,7	10,4	11,0	11,2	11,1	0,7	0,3	0,7	2015	15	1918	22	1802	23	1900	60												
Marzo	62	63	63	63			8,0	12,2	11,2	10,5	11,0	11,2	11,5	11,2	3,0	1,0	0,3	2166	21	2123	21	2137	25	2140	67											
Abril	53	51	51	52			10,5	15,0	13,8	13,1	12,5	12,8	13,0	12,4	2,0	0,8	0,3	1469	24	1728	29	1716	20	1650	83											
Mayo	45	45	46	45			12,7	17,8	16,5	15,7	15,2	15,7	15,5	15,5	2,5	2,1	1,0	1447	16	1579	26	1463	24	1510	66											
Junio	46	45	46	46			14,6	19,4	18,4	17,5	16,5	16,8	15,4	16,2	1,9	2,6	3,0	1598	15	1690	26	1720	29	1680	70											
Julio	33	30	30	31			18,1	23,2	22,0	21,1	16,5	17,0	17,0	16,8	1,6	6,2	5,0	1111	26	1355	27	1387	27	1280	80											
Agosto	35	35	39	36			16,9	22,6	21,4	20,3	20,5	21,0	21,1	20,9	3,0	1,6	0,3	1241	14	1488	28	1409	29	1400	71											
Septiembre	59	54	51	52			17,1	21,1	20,4	19,5	20,8	20,7	21,2	20,9	3,7	0,4	0,8	1605	8	1883	19	1755	18	1780	45											
Octubre	59	62	62	61			13,4	17,1	15,6	15,4	15,5	16,4	16,0	16,0	2,1	0,7	0,4	2050	14	1937	12	2127	12	2050	38											
1938																																				
Noviembre	64	65	64	64			11,6	14,8	13,2	13,2	15,2	15,3	14,8	15,1	3,6	0,5	1,6	2029	14	2064	17	1945	22	2010	53											
Diciembre	61	62	62	62			9,4	12,8	11,2	11,1	12,0	12,2	12,0	12,1	2,6	0,6	0,8	1886	19	1912	26	1849	28	1880	73											
AÑO	0,52	0,52	0,53	0,52			12,5	16,7	15,5	14,9	14,9	15,3	15,1	15,1	2,5	1,5	0,4	1680	195	1760	268	1730	288	1730	751											

TABLA I



M76
(460.4
BA
A 1